

УДК 581.524.323(571.66)

## НАЧАЛО СУКЦЕССИЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ЛАВОВЫХ ПОТОКАХ ТОЛБАЧИНСКОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ 2012–2013 гг. (КАМЧАТКА)

© 2019 г. С. Ю. Гришин<sup>а</sup>, \*, П. А. Перепелкина<sup>а</sup>, М. Л. Бурдуковский<sup>а</sup>

<sup>а</sup>ФНЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН,  
Россия 690022 Владивосток, просп. 100-летия Владивостока, 159

\*e-mail: grishin@biosoil.ru

Поступила в редакцию 29.06.2018 г.

После доработки 18.07.2018 г.

Принята к публикации 25.07.2018 г.

**Ключевые слова:** колонизация, растения, мхи, диаспоры, вулканогенные сукцессии, раннесукцессионные виды

**DOI:** 10.1134/S036705971903003X

С ноября 2012 г. по сентябрь 2013 г. в северной части Толбачинского дола (центральная часть Камчатки) произошло крупное вулканическое извержение, в ходе которого потоки лавы перекрыли территорию площадью 36 км<sup>2</sup>. Через два года после извержения мы обнаружили первые растения, поселившиеся на лаве. Цель настоящей работы – зафиксировать инициальный этап первичной сукцессии растительности, выявить специфику появления растений на лаве и оценить факторы, определяющие динамику заселения.

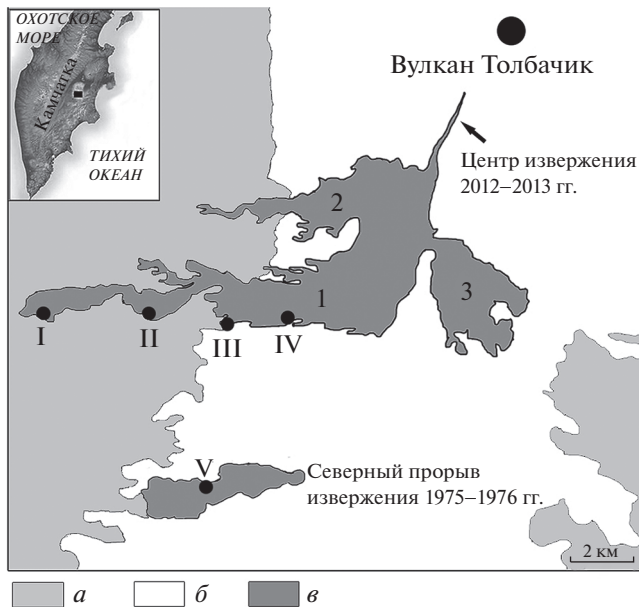
Сукцессии на лавовых потоках изучали на вулканах Исландии, Японии, Италии, Гавайских островов [1–6] и других районов тропической зоны. При этом описания сукцессий, в которых зафиксированы первичные появления растений, единичны [1, 4, 5]. На Камчатке и Курилах излияния лавовых потоков за последнее столетие произошли на 11 вулканах, лавы перекрыли территорию площадью 130 км<sup>2</sup> [7].

Исследования сукцессий на современных потоках проведены на камчатских вулканах Толбачик и Ключевской [8–10], но лишь через 30–60 лет после извержений. После извержения 2012–2013 гг. впервые представилась возможность изучить самые первые этапы сукцессий. Лавовые потоки Камчатки уникальны, поскольку других современных излияний в бореальной зоне не существует.

Толбачинский дол – голоценовое лавовое плато площадью 875 км<sup>2</sup>, расположенное к югу от вулкана Толбачик (высота 3682 м). В лесном поясе преобладают леса из *Larix cajanderi* Мауг., которые распространены до верхней границы леса, т.е. до высот около 900 м над ур. м. В субальпийском поясе на высотах 800–1100 м над ур. м. располагается комплекс из редколесий *Larix cajanderi*, *Betula ermanii* Cham., стлаников (*Alnus fruticosa* Pall., *Pinus pumila* (Pall.) Regel), субальпийских лугов. В XX в. здесь произошли извержения в 1941 г. и 1975–1976 гг.; последнее имело два центра – Северный и Южный прорыв [11]. Пеплопады Северного прорыва уничтожили растительный покров на площади более 100 км<sup>2</sup> [12]. Участки растительности сочетаются со шлаковыми пустошами, сформированными тефрой 1975 г., и старыми, крайне медленно [8] зарастающими лавовыми потоками. В исследуемом районе выявлено 263 вида сосудистых растений [12], а на территории Толбачинского дола в целом 203 вида мхов и 344 лишайников [10].

Лавовые потоки извержения 2012–2013 гг. текли с высот 1650–1900 м над ур. м. и сформировали лавовые поля Водопадное и Ленинградское (рис. 1). Их поверхность образована обломочно-глыбовой базальтовой лавой aa (гавайское название) с температурой на выходе 1080°C [13]. Потоки Ленинградского поля внедрились в лесной пояс до высоты 300 м над ур. м. Поскольку движение лавы происходило зимой, лесных пожаров не возникло [14]. В 2013 г. сформировалось Толудское лавовое поле, где преобладала лава пахоехое с относительно гладкими поверхностями.

Для исследования первичного заселения лавовых поверхностей в августе 2015 г. на южной окраине Ленинградского поля были заложены 4 трансекты (см. рис. 1). Каждый трансект состоял из 100 примыкающих друг к другу площадок размером 1 × 1 м. Трансекты I и II заложены в лесном поясе (на высотах 350 и 580 м над ур. м.), трансект III – на границе леса (760 м над ур. м.) и трансект IV – в зоне шлаковых пустынь субальпийского пояса (1000 м над ур. м.). Размер трансектов 2 × 50 м, они расположены на верхних суб-



**Рис. 1.** Район исследований: *a* – территория, покрытая лесами и редколесьями; *b* – безлесная (выше верхней границы леса) территория северной части Толбачинского дола; *v* – лавовые поля 2012–2013 гг. (1 – Ленинградское, 2 – Водопадное, 3 – Толудское); I–IV – трансекты на лаве 2012 г., V – на лаве главного потока 1975 г.

горизонтальных частях потоков от краев в глубь лавовых полей и не захватывают борта. В 2017 г. протяженность трансектов увеличили до 100 м (200 площадок). На площадке размером 1 м<sup>2</sup> оценивали встречаемость растений и относительное обилие: балл 1 – единичные особи (1–2 шт. на площадке); балл 2 – 3–5 особей на площадке; балл 3 – 5–10 особей; балл 4 – 10–30 особей, расположенных диффузно или небольшими группами в виде подушечек размером до 0.3–0.5 см; балл 5 – до 50 особей на площадке или небольшие подушки до 1 см; балл 6 – более 50 особей на площадке.

Потоки лавы *aa* имеют субгоризонтальную поверхность шириной десятки метров, сливавшиеся в поля шириной сотни и тысячи метров. Южные борта Ленинградского поля имеют высоту 5–15 м, склоны крутизной около 45°. Поверхность лавы представлена нагромождением глыб размером 0.2–1.5 м и участками мелкообломочного материала. Перепад высот на трансектах составил около 2 м. В 2015 г. на трансекте I обнаружены термопроявления с температурой на глубине 10 см (в трещине между глыбами лавы) до 112°C. На участках трансектов II–IV поверхность лавы остыла, но на расстоянии 100–200 м от трансектов встречались термопроявления и выходы магматических газов. В районе расположения лавовых потоков в лесном поясе зафиксировано около 100 ви-

дов сосудистых растений, в субальпийском – около 80, в альпийском – около 150 [12].

Из сосудистых растений в 2015 г. на трансектах были встречены только единичные всходы *Chamerion angustifolium* (L.) Holub, другие растения были представлены мхами (*Racomitrium lanuginosum* (Hedw.) Brid., *Polytrichum piliferum* Hedw., *P. juniperinum* Hedw. и др.). Эти виды, особенно *Racomitrium lanuginosum*, отмечены как пионерные на лавовых потоках разных вулканических районов мира [2, 3]. Мхи в 2015 г. встречались единичными особями размером 1–2 мм, местами образующими разреженные скопления (0.5–2 см в диаметре на участках размером не более 0.1–0.3 м<sup>2</sup>). Особи растений чаще были приурочены к понижениям среди лавовых глыб глубиной 0.5–1 м. Типичные темно-серые относительно гладкие монолитные поверхности базальта не заселялись. Растения появлялись на поверхности шероховатых лавовых глыб с окисленной красновато-бустрой поверхностью. Окисление закисной формы железа в лаве в окисную происходило при высокой температуре [11]. Приуроченность к понижениям связана, вероятно, с меньшей экстремальностью в них микроклиматических условий. В 2015 г. было зафиксировано повышение встречаемости растений от нижнего к верхнему трансекту (рис. 2). На гладких поверхностях лавы пахоехое Толудского лавового поля в 2015 г. растений не было, единичные особи *Poa malacantha* var. *vivipara* (Roshev.) Tzvel. и скопления мхов (до 2 см в диаметре) встречались в трещинах на лавовых плитах.

В 2017 г. трансекты II–IV обследовали повторно. Распределение встречаемости растений по высотному профилю стало более равномерным. От 2015 к 2017 г. выявлено 2–3-кратное увеличение встречаемости мхов (см. рис. 2). В 2015 г. обилие мхов обычно соответствовало одному баллу, а площадки с обилием 2–3 балла были редки. В 2017 г. обычными были площадки с обилием мхов 2–4 балла, но проективное покрытие оставалось низким – до 1–3%. Мхи часто представлены скоплениями особей в виде разреженных пятен до 10 см, а также плотных подушечек до 2–3 см в диаметре. Проростки и небольшие особи *Chamerion angustifolium* встречены единично – только в понижениях среди глыб.

На бортах лавовых потоков, сложенных навалом глыб и осыпями мелкообломочного материала, условия для поселения более благоприятны из-за примыкания лесной растительности, частичного затенения склонов. Глыбы лавы у оснований бортов потоков были усыпаны сухой хвоей *Larix cajanderi*. На мелкообломочных осыпях оснований бортов потоков в дополнение к *Chamerion angustifolium* и видам мхов, обнаруженных в 2015 г., в 2017 г. встречены единичные особи *Poa*

*malacantha* и сеянцы *Larix cajanderi*. Мхи отмечены массово с обилием до 5–6 баллов.

Для выявления тенденций зарастания лавы в 2017 г. был заложен трансект V на наиболее крупном потоке Северного прорыва 1975 г. со сложением поверхности, близким к условиям Ленинградского поля. К 2017 г. здесь сформировался разреженный, неоднородный в зависимости от микрорельефа и сложения субстрата растительный покров (среднее проективное покрытие 21%) с участием мхов (покрытие 17%, доминировал *Racomitrium lanuginosum*), лишайников (1%), трав (*Chamerion angustifolium*, *Poa malacantha*) и единичного подроста деревьев (*Populus suaveolens* Fisch., *Betula ermanii*, *Salix udensis* Trautv. et Mey.).

На лавовом потоке 1941 г. поверхность глыб через 42 года после извержения была покрыта лишайником *Stereocaulon vesuvianum* Pers., тогда как на тефре 1975 г., отложившейся между глыбами, поселились травянистые растения. Чаще всего там встречался *Poa malacantha* [8]. Лава Южного прорыва (он расположен в 10 км к югу от Северного прорыва), представляющая собой сочетание плит и глыб лавы, через 30 лет после извержения на 10% (местами до 30%) была покрыта мхами (в основном *Racomitrium lanuginosum*). Мхи предпочитали северные склоны выступающих неровностей рельефа и низины, а также покрывали углубления в трещинах на плитах лавы шириной до 20–40 см. Травянистые растения и подрост древесных растений встречались единично, были угнетены.

В 2013–2014 гг. растения на лаве 2012 г. не были обнаружены; их отсутствие определялось, вероятно, особо неблагоприятными условиями начального периода существования ювенильного вулканического субстрата. Магматические газы из лавовых толщ [11], а также газы, образующиеся в результате пиролиза [14], выделялись в виде многочисленных фумарол, действовавших первые месяцы после остановки потоков. Газы выделялись из толщ лавы и в последующие годы, обнаруживаясь по резкому запаху. Продукты взгонов откладывались на поверхности лавы. К маю 2013 г. снеговой покров на лаве, обогащенный прослоями тонкой тефры, выпадавшей в ходе извержения, растаял. Талая вода, подкисленная и с выщелоченными из тефры элементами [15], пропитывала поверхность лавы, задерживаясь в низинах, кавернах, трещинах, скоплениях мелкозема. Тонкая тефра, осевшая на лаве, пылила в ветреную погоду. Таким образом, поверхность лавы изначально была нестабильной, местами для нее были характерны повышенная температура и газовыделение и в целом была химически неблагоприятной для поселения.

Однако в 2013–2014 гг. условия на лавовых потоках постепенно менялись. Краевые части лаво-

Доля площадок, %

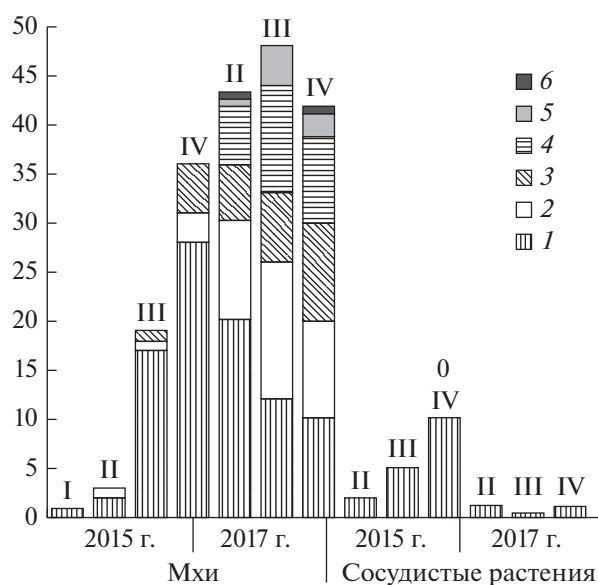


Рис. 2. Доли (%) площадок с разным относительным обилием растений на трансектах I–IV в 2015 и 2017 гг.

вых полей остывали, происходили дегазация толщ и промывание субстрата атмосферными осадками. За 2.5 года после остановки лавы Ленинградского поля, к лету 2015 г., выпало около 1700–2500 мм осадков, причем из-за высотной дифференциации количества осадков в районе трансекта IV было приблизительно в 1.5 раза больше, чем в районе трансекта I. Поэтому с увеличением высоты промывка субстрата была более интенсивной; по-видимому, также быстрее остывала лава. Таким образом, возможно, что для выживания поселившихся растений условия в субальпийском поясе более благоприятны, чем в лесном, из-за меньшего контраста суточного хода температур и влажности субстрата и меньшей инсоляции вследствие частых туманов и облачности. Увеличение встречаемости и относительного обилия мхов, а также относительно равномерное распределение пионерных растений в 2017 г. на трансектах II–IV подтверждают, что условия постепенно становились более приемлемыми.

Характер размещения первопоселенцев свидетельствует о том, что на инициальном этапе сукцессии основное значение для распространения диаспор имеет ветер, как это неоднократно отмечалось [1, 3–6]. С увеличением высоты местности, вероятно, усиливался занос диаспор из высокогорий, а не с примыкающих территорий. Это подтверждает отсутствие участков сомкнутой растительности в радиусе 1–2 км от трансекта IV, на котором пионерные растения, особенно мхи, наиболее обильны. Источник поступления спор мхов – вышерасположенные горные и высоко-

горные тундры. Мы наблюдали широкое распространение мхов как в разреженных тундрах на высоте 1500–1700 м, так и на участках сомкнутых тундр, ниже 1500 м, где их покрытие достигало 70%. Поступлению диаспор сверху вниз, т.е. из альпийского в субальпийский пояс и ниже, благоприятствовали открытые ландшафты и частые сильные ветры в высокогорьях.

Особенности мхов как пионерных растений позволяют им быстро расселяться и захватывать пространство на первых этапах сукцессии. Обычно через несколько лет/десятилетий поверхности, в основном мелкоглыбистые, начинают осваивать лишайники, особенно *Stereocaulon vesuvianum* [8, 9, 15]. Отсутствие всходов *Larix cajanderi* на субгоризонтальной поверхности потоков 2012 г. объясняется тем, что ее семена разлетаются недалеко от деревьев, обладают низкой всхожестью и быстро гибнут после прорастания на пересыхающем субстрате [16]. Однако появление единичного подростка деревьев и кустарников на лаве 2012 г. все же возможно в течение нескольких десятилетий. Оно, вероятно, будет происходить близ бортов потока в лесном поясе на участках аккумуляции мелкозема и опада, в дернинах трав и мхов. В течение первого столетия на лаве 2012 г. постепенно будет формироваться мохово-лишайниковый покров [1–6]. Дальнейшие этапы сукцессии будут определяться высотным положением территорий потоков, примыкающей растительностью и интенсивностью новых пеплопадов [8, 17].

Таким образом, на лавовых потоках вулкана Толбачик зафиксировано начало первичной сукцессии растительности. Ранее для Камчатки и в целом для вулканов, расположенных в бореальной зоне, такие описания отсутствовали.

Работа проведена при поддержке РФФИ (грант № 13-05-00686).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bjarnason A.H.* Vegetation on lava fields in the Hekla area, Iceland // *Acta Phytogeogr. Suec.* Uppsala, 1991. V. 77. 110 p.
2. *Clarkson B.D.* Vegetation succession (1967–89) on five recent montane lava flows, Mauna Loa, Hawaii // *New Zealand J. of Ecology.* 1998. V. 22(1). P. 1–9.
3. *Cutler N.A., Belyea L.R., Dugmore A.J.* Spatial patterns of microsite colonization on two young lava flows on Mount Hekla, Iceland // *J. Veg. Sci.* 2008. V. 19. P. 277–286. doi 10.3170/2008-8-18371
4. *del Moral R., Magnússon B.* Surtsey and Mount St. Helens: a comparison of early succession rates // *Biogeosciences.* 2014. V. 11. P. 2099–2111. doi 10.5194/bg-11-2099-2014
5. *Fridriksson S.* Plant colonization of a volcanic island, Surtsey, Iceland // *Arctic and Alpine Research.* 1987. V. 19. P. 425–431. doi 10.2307/1551407
6. *Tagawa H.* A study of volcanic vegetation in Sakurajima, southwest Japan. I. Dynamics of vegetation // *Sci. Kyushu Univ. Ser. E.* 1964. V. 3. P. 165–228.
7. *Гришин С.Ю.* Излияния лавовых потоков на Камчатке в XX и начале XXI века: масштабы и глубина изменения экосистем // *Изв. РГО.* 2017. Т. 149. № 6. С. 43–59.
8. *Гришин С.Ю.* Сукцессии подгольцовой растительности на лавовых потоках Толбачинского дола // *Ботан. журн.* 1992. № 1. С. 92–100.
9. *Гришин С.Ю.* Влияние извержений вулкана Ключевского на растительность // *Изв. РГО.* 2011. Т. 143. Вып. 5. С. 44–54.
10. Растительный покров вулканических плато Центральной Камчатки (Ключевская группа вулканов) / Под ред. Нешатаевой В.Ю. М.: Тов. науч. изд. КМК, 2014. 461 с.
11. Большое трещинное Толбачинское извержение (1975–1976 гг., Камчатка) / Под ред. Федотова С.А. М.: Наука, 1984. 638 с.
12. *Гришин С.Ю., Крестов П.В., Верхолат В.П.* и др. Динамика растительного покрова Толбачинского дола (Камчатка) в течение последних десятилетий // *Комаровские чтения.* Владивосток, 2013. Вып. 61. С. 119–158.
13. *Belousov A., Belousova M., Edwards B.* et al. Overview of the precursors and dynamics of the 2012–13 basaltic fissure eruption of Tolbachik Volcano, Kamchatka, Russia // *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 2015. V. 299. P. 19–34. doi 10.1016/j.jvolgeores.2015.04.009
14. *Гришин С.Ю.* Погребение лесной растительности лавовыми потоками Толбачинского извержения (Камчатка, 2012–2013 г.) и его последствия // *Изв. РГО.* 2015. Т. 147. Вып. 6. С. 14–27.
15. *Мелекесцев И.В., Карташева Е.В., Кирсанова Т.П.* и др. Загрязненная свежевывающей тефрой вода как фактор природной опасности (на примере извержения вулкана Корякский, Камчатка, в 2008–2009 гг.) // *Вулканол. и сейсмол.* 2011. № 1. С. 19–32.
16. *Кабанов Н.Е.* Типы лиственных лесов Камчатки // *Леса Камчатки и их лесохозяйственное значение.* М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 12–125.
17. *Гришин С.Ю.* Смена растительного покрова под воздействием вулканического пеплопада (Толбачинский дол, Камчатка) // *Экология.* 2010. № 5. С. 389–392 [*Grishin S.Y.* Vegetation changes under the impact of volcanic ashfall (Tolbachinsky Dol, Kamchatka) // *Rus. J. of Ecology.* 2010. № 5. P. 436–439. doi 10.1134/S1067413610050127.]